

블록 LDPC 부호를 사용한 3D HDTV 전송 성능개선 방안 연구

김민기*, 김동호**

Performance of 3D HDTV Transmission with Block LDPC Codes

Min-ki Kim*, Dong Ho Kim**

요 약

최근 지상파 방송에서 듀얼스트림 방식을 사용한 HD급의 3D 방송서비스가 시작되어 많은 관심이 이어지고 있다. 2011년 12월에 듀얼스트림 방식의 지상파 3DTV 송수신 정합 표준이 제정되고, 2012년 10월 시범방송이 실시되는 등 국내 기술이 3D HDTV 서비스를 선도하고 있는 상황이다. 하지만, 안정적인 HD급의 지상파 방송에서 3D 방송서비스(이하 3D HDTV)를 제공하기 위해서는 보다 데이터 전송률을 높이는 전송이 필요하다. 본 논문에서는 Reed Solomon 부호와 블록 LDPC 부호를 사용하고 16QAM 변조를 사용하여 기존 방식과 비교하여 전송 용량을 증대할 수 있다는 사실을 확인하였다. AWGN 채널에서 모의 실험한 결과 기존의 ATSC 송수신 정합표준, 수정된 ATSC 전송방식[2]과 비교하여 각각 2.97dB, 1.12dB 가량의 SNR 이득이 있음을 확인하였고, 3D HDTV 서비스의 안정적인 서비스를 위해 요구되는 29Mbps의 데이터 전송률로 전송이 가능하여 기존시스템에 비해 약1.5배의 전송 용량 증대가 가능한 것으로 확인되었다. 이로서 6MHz의 한정된 대역에서 HD급의 3D 방송서비스의 성능 개선이 가능할 것으로 예상된다.

Key Words : ATSC, 3D HDTV, 블록 LDPC, 16QAM, BCH

ABSTRACT

The dual-stream based stereoscopic 3D HDTV broadcasting service was launched recently. Although the dual-stream based HDTV service has been successfully provided, the 3D HDTV broadcasting system requires more bandwidth efficient transmission schemes because it should convey both left and right HD resolution images simultaneously in the finite 6MHz bandwidth. In this paper, we consider more advanced ATSC transmission schemes that use higher modulation such as 16-QAM and concatenated RS code and block LDPC codes. Compared with conventional ATSC system and the modified ATSC system in [2], the proposed system has about 2.97dB and 1.12dB SNR gain at the payload data rate of 19.44Mbps compared with the existing ATSC system and the modified ATSC system [2]. Also, the proposed scheme requires only 1.05dB power increase for the 3D HDTV service, which is reasonable SNR increase value and applicable to the advanced 3D high definition broadcasting realization in limited 6MHz bandwidth.

I. 서 론

최근 실감 미디어에 대한 관심이 높아짐에 따라 3D방송에 관한 연구가 현재 활발히 이루어지고 있고, 많은 논문과 연구 결과들이 나오고 있다. 3D 방송에는 단일 스트림(single stream) 방식과 듀얼 스트림(dual stream) 방식이 있다. 단일 스트림 방식은 side by side, top-and-bottom, line/column interleave방식들이 있다. 이러한 방식들은 현재

기존 DTV에서 사용하고 있지만 HD 재현의 어려움, 기존 TV에서는 시청이 어려운 단점이 있다. 반면에 듀얼 스트림 방식은 새로운 입출력 및 압축 시스템이 필요한 단점이 있지만 추가 주파수 없이 현재 방송채널(6MHz)을 통해 2D(기존 MPEG-2)와 3D(좌안: MPEG-2, 우안: H.264) 영상을 모두 수신할 수 있어서 주파수 효율성이 좋고 3DTV를 보유하지 않은 사용자의 시청권도 보장할 수 있다는 장점이 있다.

KBS에서 2010년 5월(프레임 호환방식)과 10월(서비스 호환 방식)을 두 번에 걸쳐 3DTV 실험 방송 서비스를 실시하

* 이 논문은 2013년도 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 (일부)지원으로 수행되었습니다.(2013-1195)

*주저자 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원소속 방송통신융합연구실 (gosussy@hanmail.net)

**교신저자 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 (dongho.kim@snut.ac.kr)

접수일자 : 2013년 9월 9일, 수정완료일자 : 2013년 10월 8일, 최종게재확정일자 : 2013년 10월 14일

였다. 5월에 실시한 프레임 호환방식은 좌우 카메라에서 획득한 HD 영상의 해상도를 반으로 줄여 하나의 HD 화면으로 구성하여 3D영상을 구현하는 방식으로 기존의 방송시스템을 그대로 사용할 수 있는 장점이 있으나 역호환성을 유지하지 못하는 단점이 있다. 10월에 실시한 서비스 호환 방식은 좌우 카메라에서 획득한 두 개의 HD 영상을 해상도 저하 없이 분리하고 압축하여 Full HD 듀얼스트림으로 서비스하는 방식으로 기존 2DTV 시청자들은 2D 좌영상만을 볼 수 있어 역호환성이 있는 장점이 있으나, 기존의 방송시스템을 사용할 수 없고 듀얼스트림 전송을 위해 새로운 방송장비로 교체하여야 하는 단점이 있다 [3]. 2011년 12월에 듀얼스트림 방식의 지상파 3DTV 송수신 정합 표준이 제정되고, 2013년 7월에 정식 서비스가 실시되는 등 국내 기술이 3D HDTV 서비스를 선도하고 있는 상황이다.

하지만, 지상파 방송에서 안정적인 3D HDTV 서비스를 제공하기 위해서는 보다 대역폭 효율적인 전송기술을 고려하는 것이 필요하다. 현재 ATSC 지상파 방송의 송수신 정합표준은 Trellis 부호와 8-VSB 변조 기법을 사용하여 6MHz 대역에서 19.39Mbps의 데이터 전송률을 제공하고 있다. 2개 입력 비트 중 1개의 비트만 Convolution부호를 사용하여 두 개의 비트를 생성하고 나머지는 1개의 비트는 부호화하지 않는다. 부호화된 3비트로 8-ary 심볼 1개가 얻어지는데 이를 전송한다. 즉, 디지털 부호셋을 8레벨의 VSB 신호에 매핑(mapping)시켜 전송하는 방식이다. 그러나 이 기법은 이미 20년 전에 나와 있던 기술로 데이터 전송률 및 오류정정능력 측면에서 효율적이지 않은 방식이다. 그래서 고효율의 변조 방식인 16QAM이상의 변조기법을 사용한다면 한정된 대역폭에서 많은 데이터를 전송할 수 있다. 하지만 16QAM 이상의 고수준 변조를 사용하면 오류에 취약한 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 고성능의 오류정정부호 기법을 사용하는 것이 필요하다.

[2]에서는 ATSC 전송 시스템을 확장하고 DVB-T2에서 사용하고 있는 BCH 부호와 IRA 타입의 LDPC(low density parity check) 부호를 사용하는 수정된 ATSC 전송 시스템을 제안하였다. 본 논문에서는 DVB에서 사용하고 있는 IRA 타입의 LDPC 부호보다 성능이 더 좋은 채널 부호화 기법인 블록 LDPC와 ATSC에서 사용하는 RS(Reed Solomon) 부호를 결합하여 ATSC 전송 방식의 채널 용량을 증대하는 방식을 제안한다. 기존의 ATSC의 RS부호를 Outer Code로 사용하였기 때문에 전송 시스템을 구현하는데 RS부호의 출력 값 정보와 LDPC부호의 입력 정보가 맞도록 코드율과 변조를 잘 고려한다면 전송 시스템 및 방송장비의 교체는 최소화하고 전송용량 증대를 달성할 수 있을 것으로 기대한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 3D HDTV 서비스를 위한 전송률 제고 방안을 제안하고, 실험 결과와 결론을 각각 3장과 4장에서 제시한다.

II. 고성능 3D HDTV 전송을 위한 제안 방식

본 장에서는 3D HDTV를 서비스하기 위한 전송 구조에 대해 서술한다. 또한 ATSC 전송구조를 기본으로 하여 RS 부호와 블록 LDPC 부호 및 16QAM이상의 고수준 변조를 활용한 3D HDTV 제안방식에 대해 서술하고자 한다.

1. 2D 및 3D 서비스를 제공하기 위한 전송구조

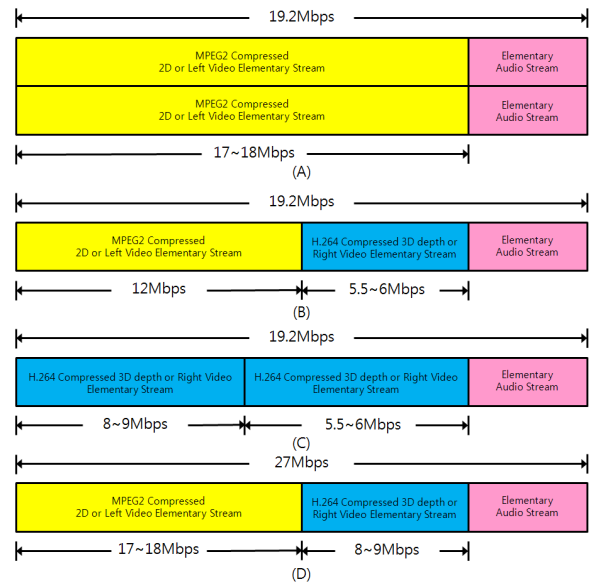


그림 1. 2D 및 3D 방송서비스를 제공하기 위한 전송 구조

일반적으로 HDTV 서비스를 위해서는 MPEG-2 압축방식을 고려할 때 17~18Mbps, H.264 압축 방식을 고려할 때 8~9Mbps가 필요한 것으로 알려져 있다. 또한, ATSC 지상파 방송의 송수신 정합표준이 19.2Mbps의 데이터 전송률을 나타냄을 고려하여 좌영상 및 우영상 스트림으로 구성된 3D 방송서비스를 위한 전송 구조를 그림 1에 나타내었다. 그림 1에 나타난 4가지 방식은 각각 전송 채널 수, 동영상 압축 방식 그리고 역호환성 측면에서 특징을 가지고 있다.

그림 1의 (A) 방식은 2D 좌/우 영상들이 각각 MPEG-2로 압축되어 두 개의 채널로 전송되는데 이 방법은 역호환성이 완벽히 보장되는 장점이 있으나 채널을 두 개 사용하므로 소요 대역폭이 많아 많은 프로그램 전송이 어려운 단점이 있다.

(B) 방식은 약 19.2Mbps의 payload 용량 중 12Mbps를 MPEG-2로 나머지 payload 용량을 H.264로 압축하여 각각 좌/우 영상을 전송하는 방법이다. 이 방법은 100% 역호환성이 보장되어 3D HDTV 실험 방송에 사용되고 있으나 18Mbps에서 12Mbps로 데이터가 줄어들어 화질 저하로 인한 문제가 발생할 수 있고 두 화질이 차이가 나므로 구토, 어지럼증을 쉽게 느낄 수 있다.

(C) 방식은 좌/우 영상정보를 각각 H.264 기술을 사용하

여 압축하고 다중화하여 한 채널에 전송하는 방법이다. 이 방식은 동일한 화질을 유지하면서 압축률을 두 배로 높일 수 있어 6MHz 대역에 양쪽 영상정보를 전송하는 것이 가능하다. 그러나 2DTV 서비스만을 고려할 경우 H.264의 복호가 가능한 수신기만 서비스가 가능한 단점을 가지고 있다.

마지막으로 (D) 방식은 (B)와 유사한 형태로 전송하나 MPEG-2는 18Mbps로, H.264는 8~9Mbps로 전송하여 2D와 3D 영상화질이 동등하게 유지되도록 제안된 방법이다. 이 방법을 사용하면 데이터의 양이 2D 서비스를 위한 데이터 용량 보다 약 1.5배 증가하게 되고 8-VSB 전송 방식을 사용해서는 증가된 데이터를 단일 채널인 6MHz 대역을 통해서 전송하기가 어렵고 완벽한 역호환성도 유지되지 않는다. 그러나 2D 및 3D 서비스 모두를 최고의 화질로 제공하는 것이 가능하다는 장점을 가지고 있다 [2].

이 4가지 방법 중 본 논문에서는 그림 1의 (D)방식을 고려하여 3D 실험 방송에서 사용한 (B)방식에 비해 데이터 전송률을 약 1.5배 이상 증가시켜 전송하는 3D HDTV 전송방식 구조를 제안한다.

2. RS와 LDPC 부호 결합 및 고수준 변조 전송 방식

기존의 연구에서 ATSC 전송 시스템을 확장하고 DVB-T2에서 사용하고 있는 BCH 부호와 IRA 타입의 LDPC(low density parity check)[7] 부호를 사용하는 수정된 ATSC 전송 시스템[2]을 제안하였다. 본 논문에서는 3D HDTV 서비스를 위한 보다 향상된 데이터 전송률을 제공하기 위해 8VSB 변조방식 대신 16QAM 변조를 고려하였다. 16QAM 변조에 따른 오류성능 열화를 극복하기 위해 기존의 오류정정부호 방식보다 강력한 오류정정 능력을 갖춘 블록 LDPC 부호를 고려하였다. 본 논문에서는 기존 연구[2]에서 고려한 BCH 부호 대신 RS 부호를 고려하였고 IRA 타입의 LDPC 대신 블록 LDPC를 적용하는 전송 시스템을 제안한다. 제안 방식에서는 기존 방송장비와 방송시스템의 교체를 최소화하는 것을 고려하여 기존의 ATSC 시스템의 송수신 정합표준에서 사용하고 있는 RS 부호화 방식인 RS(207,187)을 고려하였다. 제안한 전송 시스템의 블록도는 그림 2와 같다.

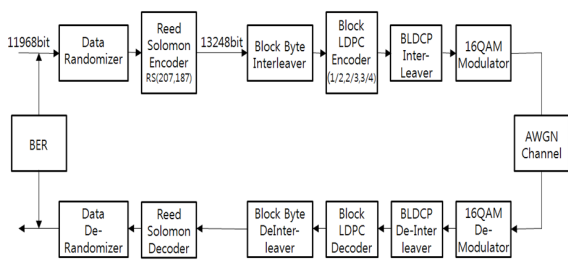


그림 2. RS와 블록 LDPC를 사용한 제안된 ATSC 전송시스템 블록도

DVB-T2에서 사용되는 IRA 타입의 LDPC 부호는 부호화된 블록의 길이가 64800비트로 고정되어 있어 다양한 부호 화율과 정보블록의 길이를 적용하기 어려운 문제점이 있다. 반면에 ATSC의 전송방식에 따른 payload 크기를 적용하기 위해서는 시스템 유연성이 상대적으로 큰 블록 LDPC를 적용하는 것이 유리하다. 또한 블록 LDPC는 IRA 타입의 LDPC보다 성능이 더 좋으며 다양한 부호율 1/2, 2/3, 3/4 등을 지원한다. 일반적으로 LDPC 부호는 부호 길이가 길수록 좋은 오류정정 능력을 갖는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 8개의 세그먼트를 RS 부호화한 13,248 비트를 블록 LDPC에 입력하여 인코딩을 수행한다. 블록 LDPC의 패리티 체크 행렬 H는 IEEE 802.16m과 802.11n에서 사용된 행렬과 유사한 방식으로 새롭게 제안하였다[8]. 예를 들어 부호율 1/2인 경우 H행렬은 (96z x 48z), z=207에 해당한다.

III. 모의실험 및 성능비교 검증

본 절에서는 모의실험을 통해 제안한 시스템의 성능 우수성을 제시한다. 성능 비교를 위해 기존의 ATSC 송수신 정합표준과, [2]에서 고려한 수정된 ATSC 전송방식, 그리고 본 논문에서 제안하는 방식의 BER 성능을 각각 모의실험하였다. 모의실험을 위한 채널 환경은 AWGN을 고려하였고 전송 신호에 추가되는 파일럿 신호와 동기 및 채널 등화에 도움을 주는 필드 동기 및 세그먼트 동기신호는 고려하지 않았다.

그림 3은 기존의 ATSC 송수신 정합표준(RS, TCM, 8VSB), [2]에서 고려한 수정된 ATSC 전송방식 (BCH, LDPC 4PAM), 그리고 본 논문에서 제안하는 방식(RS, BLDCP)의 BER 성능을 비교한 그래프이다.

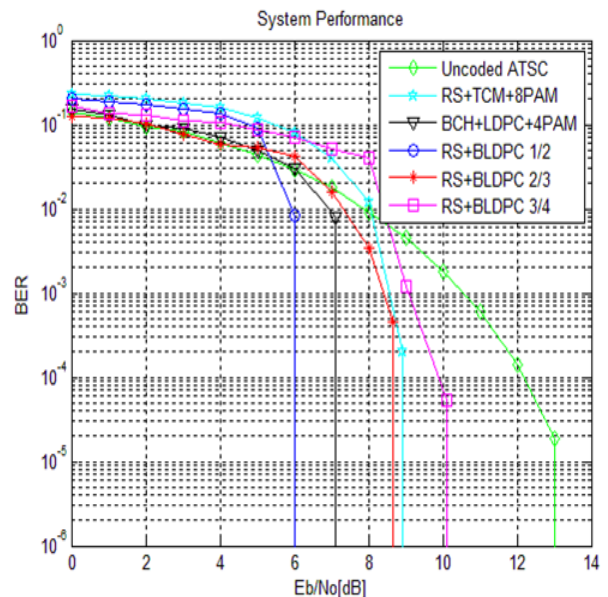


그림 3. 기존 ATSC 송수신 정합표준, 수정된 ATSC 전송방식 및 제안한 전송방식의 BER 비교 그래프

표 1. RS+BLDPC 부호화 및 16QAM 전송시스템과 기존 ATSC 및 [2]의 전송시스템 성능 비교

방식	Coding/ Modulation	Eb/No(dB)	Bandwidth Efficiency (bps/Hz)	SNR(dB)	Payload (Mbps)	TOV gain/lose(dB)
ATSC	RS+Trellis+ 8PAM	8.92	3.61	14.5	19.44	기준
BCH+LDPC	4PAM	7.1	3.59	12.65	19.33	+1.85
	8PAM	11.1	5.40	18.40	28.99	-3.33
RS+BLDPC+ 16QAM	r=1/2	5.95	3.61	11.53	19.44	+2.97
	r=2/3	8.73	4.82	15.55	25.92	-1.05
	r=3/4	10.17	5.42	17.51	29.16	-3.01

그림 3의 BER 결과를 바탕으로 비디오 스트림의 성공적인 전송을 위해 요구되는 SNR, 즉 TOV(Threshold of Visibility)를 성능 지표로 고려하였으며, 대역폭 효율, 데이터 전송률, TOV 이득 및 손실 등의 파라미터를 이용한 성능 비교 결과를 표 1에 나타내었다.

RS부호와 TCM 및 8VSB 변조를 사용하는 기존 ATSC 송수신 정합표준과 [2]에서 고려한 BCH와 IRA LDPC 및 4PAM를 고려한 시스템은 19.44Mbps와 19.33Mbps의 유사한 데이터 전송률을 가지며 TOV는 각각 8.92dB와 7.1dB로 수정된 ATSC 전송방식[2]이 기존의 ATSC 전송방식에 비해 대략 1.85dB 가량 좋아진 것을 볼 수 있다. 수정된 ATSC 전송방식이 8PAM 변조를 고려하면 28.99Mbps의 데이터 전송률을 얻어 3D HDTV 서비스의 요구 사항을 만족시키지만, TOV loss가 -3.91dB 발생하여 추가적인 신호 전력을 요구하는 것을 알 수 있다.

본 논문에서 제안한 RS와 BLDPC 및 16QAM의 성능 검증을 위해 부호율 1/2, 2/3, 3/4에 대해 각각 모의실험 하였다. 이때 TOV는 각각 5.95dB, 8.73dB, 10.17dB임을 확인하였다. 블록 LDPC의 부호화율이 1/2이고 16QAM인 경우 payload는 기존 ATSC 전송율과 같지만 TOV(EbNo 임계값)는 5.95dB이고 SNR로 환산한 식은 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{S}{N} &= \frac{E_b}{N_o} + 10\log_{10}\left(\frac{187}{207} \times \frac{1}{2} \times 4 \times 2\right) \\ &= 5.95 + 5.5793 \\ &= 11.53 \end{aligned} \quad (1)$$

제안한 방식에서 부호율 1/2의 경우 데이터 전송률은 19.44Mbps로 기존 ATSC 송수신 정합표준과 수정된 ATSC 전송방식의 4PAM 방식과 유사한 데이터 전송률을 갖는다. 이 경우 제안하는 방식의 TOV 이득은 +2.97로 [2]에서 고려한 방식보다 1.12dB 성능 이득이 있음을 알 수 있다.

또한, 제안한 방식에서 부호율 3/4의 경우 데이터 전송률은 기존 ATSC 전송방식에 비해 약 1.5배 증가된 29.16Mbps로 3D HDTV 서비스의 요구 사항을 만족시킨다. 이 경우 TOV 손실이 약 -3.01dB 발생하는 것을 알 수 있다. 하지만, 수정된 ATSC 전송방식[2]의 경우 TOV 손실이 -3.91이므로 제안한 방식이 수정된 ATSC 전송방식[2]에 비해 약 0.9dB 가량의 성능 이득을 보임을 알 수 있다.

RS와 BLDPC 및 16QAM을 사용하고 부호화율이 3/4인 경우의 대역효율은 식(2)와 같이 구할 수 있다.

$$\frac{R}{W} = \frac{187}{207} \times \frac{3}{4} \times 4 \times \frac{10.76}{5.38} = 5.42 \quad (2)$$

결론적으로 제안한 방식을 통해 3D HDTV 서비스를 구현할 경우 3dB 정도의 추가적인 송신 전력을 사용하면 29.16Mbps의 데이터 전송률을 얻을 수 있어 안정적인 3D HDTV 서비스가 가능할 것으로 예상된다.

IV. 결론

본 논문에서는 최근 ATSC방식의 디지털 방송에서 HD급의 3D 방송 서비스에 대한 관심이 높아짐에 따라 HD급의 3D 방송 서비스를 제공하기 위해 기존 ATSC의 채널 부호와 변조를 수정하여 제안하였다. [2]에서는 ATSC 전송 시스템을 BCH와 IRA 타입의 LDPC를 사용하고 변조는 4PAM과 8PAM을 적용하여 수정하였다. [2]에서 제안한 수정된 ATSC 전송시스템의 Eb/No TOV가 약 7.1dB로 19.33Mbps의 전송률을 나타내고, 8PAM을 사용하였을 경우 TOV는 약 11.1dB이고 전송률은 28.99Mbps를 나타낸다.

본 논문에서 제안한 RS와 블록 LDPC 및 16QAM 전송 방식을 적용하였을 때 부호율이 1/2인 경우 EbNo TOV는 약 5.95dB이고 19.44Mbps의 전송률을 달성할 수 있어 [2]의 4PAM을 사용하여 유사한 payload 전송률을 얻는 경우 비교하여 1.12dB의 SNR 이득을 얻을 수 있다. 또한 [2]의 8PAM을 사용하여 대략 29Mbps의 payload 전송률을 얻는 경우와 비교하여 제안한 방식의 부호율 3/4의 경우 유사한 payload 전송률을 달성하며 8PAM을 사용한 방법보다 0.3dB의 SNR 이득을 얻을 수 있는 것을 확인하였다.

또한 제안한 방식의 부호율 3/4을 사용하였을 경우 SNR TOV는 17.51dB이며 대역폭 효율은 5.42bps/Hz를 나타냈다. [2]에서 유사한 SNR TOV를 갖는 경우가 4PAM을 사용하는 경우로 이 때의 대역폭 효율은 3.59bps/Hz를 나타냈다. 이로써 제안한 방식의 부호율 3/4의 경우는 [2]에 비해 1.5배

정도의 대역 효율이 증가한 것으로 나타났다. 이와 같이, 기존의 ATSC 전송 시스템을 기반으로 BLDPFC와 16QAM의 변조 기법을 사용한다면 HD급 3D방송의 실현에 한층 더 가까워 질 수 있으리라 기대한다.

현재 DVB-T2는 변조방식이 64QAM, 256QAM까지 사용할 수 있어 6비트 또는 8비트를 한 심볼로 전송하므로 이 방식을 사용하여 추가적으로 전송용량을 더 증가할 수 있고 전송용량 증가에 따른 성능을 관찰하는 연구가 필요할 것으로 보인다. 그리고 본 논문에서 제안한 RS부호 대신 BCH를 적용하여 본 논문의 모의실험 결과와 성능을 비교하는 연구가 필요할 것이며 현재 UHDTV의 전송용량 증대에 대한 연구도 필요할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] ATSC. (2007). "A53 ATSC Digital Television Standard".
 [2] 오종규, 김준태. (2010), "지상파 3D HDTV 전송을 위한 확장된 ATSC 전송 시스템에 대한 연구", 한국방송공학회, 방송공학회논문지, 제15권 제5호 2010.9, pp. 681-696
 [3] http://tri.kbs.co.kr/2011/publication/pub_06_03.php, "3DTV 실험 방송"
 [4] 김남수, 강환만, 조성호, "UMM(Unitary Matrix Modulation)을 이용한 LDPC(Low Density Parity Check) 코디드 OFDM 시스템", 한국통신학회, 한국통신학회논문지, 제30권 5A호 2005.5, pp. 436-444
 [5] Hao Zhong, Tong Zhang (2005)."Block-LDPC: a practical LDPC coding system design approach".Circuits and Systems I: Regular Papers, IEEE Transactions on. Volume: 52, Issue: 4, pp.766 - 775
 [6] Futaki, H, Ohtsuki, T.(2002)." Performance of low-density parity-check (LDPC) coded OFDM systems". Communications, 2002. ICC 2002. IEEE International Conference on. ume: 3, pp. 1696-1700
 [7] Todd K. Moon, "Error Correction Coding : Mathematical methods and algorithms," John Wiley & Sons, Inc., 2005
 [8] IEEE Xtd 802.16e-2005 and IEEE STD802.16-2004/Cor1-2005Air, Interface for Fixed and Mobile BroadBand Wireless Access System

저자

김민기(Min-ki Kim)

정회원



- 2010년 : 국가평생교육진흥원 전자공학 학사졸업
 - 2012년 : 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 방송통신융합프로그램 석사졸업
 - 2013년 9월 : 서울과학기술대학교 NID 융합기술대학원 방송통신융합프로그램 박사과정
- <관심분야> : 채널코딩, 무선통신, 지상파 방송통신 등

김동호(Dong Ho Kim)

정회원



- 1997년 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사
 - 1999년 2월 : KAIST 전기및전자공학과 석사
 - 2004년 8월 : KAIST 전기및전자공학과 박사
- 2004년 9월~2007년 2월 : 삼성중합기술원 및 삼성전자 책임연구원
- 2007년 3월~현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 부교수
- <관심분야> : 무선이동통신시스템, 방송통신 전송기술, 오류 제어시스템 등